

ARSÉNICO EN EL AGUA

María Alexandra Cabrera

David Pinos

María Fernanda Pulla

Estudiantes Escuela de Ingeniería Civil

Abstract

Arsenic (As) is a metalloid found naturally in air, soil and water. Have toxicological importance due to its environmental impact even in little concentrations. It is released by human activities and naturally by the earth's crust.

People can be exposed to arsenic mainly through food and water, especially in certain areas where groundwater comes into contact with arsenic containing minerals

Keys word: Arsenic, toxicological importance, environmental impact, concentration, soil minerals.

Resumen

El arsénico (As) es un metaloide que se encuentra naturalmente en el aire, suelo y agua. Tiene importancia toxicológica debido a su impacto ambiental, incluso en concentraciones pequeñas. Es liberado por las actividades humanas y de forma natural por la corteza terrestre.

Las personas pueden estar expuestas al arsénico, principalmente a través de alimentos y de agua, especialmente en ciertas áreas donde el agua subterránea entra en contacto con minerales del suelo que contienen arsénico.

Palabras clave: Arsénico, importancia toxicológica, impacto ambiental, concentración, minerales del suelo.

1.- INTRODUCCIÓN

El arsénico es un elemento químico que tanto en su estado elemental como sus compuestos son extremadamente tóxicos, especialmente el arsénico inorgánico, que resulta de la combinación del arsénico con

el oxígeno, cloro y azufre. Está en la naturaleza en distintas formas (en la tierra y en las rocas); muy pocas veces se lo encuentra en forma sólida. Se puede dispersar en el medio ambiente a través de acción volcánica, erosión de rocas y a través de actividades humanas como la minería o fundición de minerales que contengan arsénico o el desecho de pesticidas.

En las aguas destinadas para el consumo humano, el arsénico generalmente proviene de pozos profundos donde existe pirita o arsenopirita (combinación de hierro, azufre y arsénico). La norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS) permite una concentración máxima de arsénico en aguas destinadas para el consumo humano de 10 µg/L.

En varios países de América del Sur entre ellos: Argentina, Chile, México, El Salvador; por lo menos cuatro millones de personas beben agua con niveles de arsénico en forma permanente, que ponen en riesgo su salud. Las concentraciones de arsénico en el agua, sobre todo en el agua subterránea, presentan niveles que llegan en algunos casos hasta 1000 µg/L. En otras regiones del mundo como India, China y Taiwán el problema es aún mayor. De acuerdo a la información obtenida, en India existen alrededor de 6 millones de personas expuestas, de las cuales más de 2 millones son niños. En Estados Unidos más de 350 000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que 500 µg/L de arsénico, y más

de 2,5 millones de personas están siendo abastecidas con agua con tenores de arsénico mayores a 25 µg/L.

En el Ecuador la contaminación con arsénico fue detectada recientemente en aguas geotermiales, aguas subterráneas y superficiales y sedimentos. En la Laguna de Papallacta cuando se encontraba en proceso de remediación debido a la contaminación con petróleo crudo por una rotura del Oleoducto Transecuatoriano SOTE ocurrida en el 2003. Un estudio dio como resultado que en las cercanías de la Laguna, en ríos y aguas termales, las concentraciones de arsénico eran de entre 39 a 105,60 µg/L. Y en ese mismo estudio, se determinó que las concentraciones de arsénico en la Laguna de Papallacta eran de 390 y 670 µg/L. Técnicos ambientales y expertos manifestaron que las posibles causas de la alta concentración de arsénico en la Laguna de Papallacta fueron la remoción de sedimentos de la Laguna durante el proceso de remediación.

2.- DESARROLLO

El arsénico, (As) es muy común en la atmósfera, en rocas y suelos, en la hidrosfera y la biosfera. Es llevado al medio ambiente a través de una combinación de procesos como:

- Naturales como la meteorización, actividad biológica, emisiones volcánicas.
- Antropogénicos como la actividad minera, uso de combustibles fósiles, uso de pesticidas, herbicidas, desecantes, conservadores de la madera, etc.

El arsénico es extremadamente tóxico para el organismo humano; no solo en concentraciones altas, donde la exposición causa efectos agudos que pueden llegar a ser letales, sino también en concentraciones relativamente bajas en la exposición durante un largo período de arsénico, por ejemplo, por ingestión de agua, esta tiene efectos negativos crónicos para la salud. Por eso, el arsénico en las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses) y subterráneas (acuíferos) susceptibles a ser utilizadas

para consumo, constituye una gran amenaza para la salud. Tanto así, que ha llevado a organismos como la OMS, la Unión Europea (Directiva 98/83) o la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (USEPA) a establecer la reducción del límite del contenido de arsénico permitido en agua de consumo de 50 a 10 µg/L (WHO, 1993)

2.1 DISTRIBUCIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS

En aguas naturales, el arsénico se encuentra en forma de solución acuosa. En forma orgánica suele aparecer en concentraciones menores que las especies inorgánicas, aunque pueden incrementar su proporción como resultado de reacciones de metilación catalizadas por actividad microbiana.

2.1.1 AGUAS SUPERFICIALES:

• RÍOS

Los valores medios de contenido de arsénico en ríos son relativamente bajos, en general, inferiores a 0,8 µg/L, aunque pueden variar dependiendo de factores como:

- Recarga superficial y subterránea.
- Litología de la cuenca.
- Drenaje de zonas mineralizadas.
- Clima.
- Actividad minera y
- Vertidos urbanos o industriales.

Por ejemplo, en áreas de clima árido, el aumento de la concentración de arsénico en las aguas superficiales se ve favorecido por procesos de evaporación, que además provocan un aumento en la salinidad y pH de las aguas. Las corrientes fluviales de zonas mineras o con mineralizaciones muestran contenidos altos de arsénico, generalmente en el rango de 200-400 µg/L, estas no siempre han de tener un origen exclusivamente antropogénico.

En el 2007 los ríos de las zonas costeras del Ecuador como Río Gala, Río Tenguel, Río Siete, Río Chico están contaminados de metales como mercurio, cromo, cobre, plomo, arsénico, este último 15 veces más alto de lo permitido, debido a las operaciones mineras realizadas en la provincia del Azuay en el sector de Ponce Enríquez.

El agua de estos ríos es utilizada para lavado de vestimenta, limpieza corporal a falta de agua potable, lo que incrementa la frecuencia de exposición por contacto con la piel. En cambio en la parte norte del país las aguas superficiales de los ríos El Ángel, San Pedro y Pichán y las quebradas Cachiyacu e Ilalo de las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua que reciben aguas termales provenientes de las fuentes y aguas termales residuales de los balnearios localizados en esta región, contienen arsénico en el rango de 2 a 171 $\mu\text{g/L}$.

• LAGOS

Los valores medios de contenido de arsénico en aguas lacustres no difieren mucho de los observados en ríos, ya que están controlados por los mismos factores, excepto en lo que se refiere a la dinámica del agua. La circulación restringida de agua en los lagos tiene como consecuencia que determinados procesos geoquímicos sean facilitados. Como ejemplo, los procesos de evaporación en lagos de climas áridos, o la propia estratificación de algunos lagos en términos redox, con la existencia de un ambiente relativamente oxigenado.

2.1.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS.

En general, los valores de concentración de arsénico en aguas subterráneas son, para la mayoría de los casos, inferiores a 10 $\mu\text{g/L}$. Sin embargo, los valores para aguas en condiciones naturales definen un rango muy amplio entre < 0,5 y 5.000 $\mu\text{g/L}$. Las concentraciones altas no se restringen a determinadas condiciones, apareciendo en

- Acuíferos en condiciones oxidantes y de pH alto.
- Acuíferos en condiciones reductoras.
- Acuíferos con circulación geotermal.
- Acuíferos afectados por procesos ligados a las actividades mineras o relacionadas con depósitos minerales.
- Acuíferos ligados a otros procesos antropogénicos (actividad industrial, asentamientos urbanos, actividad agropecuaria, etc.).

Sin embargo, la mayor parte de los acuíferos con contenidos altos de arsénico tienen un origen ligado a procesos geoquímicos naturales. A diferencia de la contaminación antropogénica, están relacionados con ambientes ge-

ológicos muy diferentes: metasedimentos con filones mineralizados, formaciones volcánicas, formaciones vulcano-sedimentarias, distritos mineros, sistemas hidrotermales actuales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias.

Se han identificado un gran número de áreas con aguas subterráneas que presentan contenidos de arsénico superiores a 50 $\mu\text{g/L}$ en distintos lugares del planeta. Los problemas más importantes se sitúan en Argentina, Bangladesh, Nepal, Chile, China, Hungría, India (Bengala Oeste), México, Rumania, Taiwán, Vietnam y EE.UU., siendo en este último país y en Bangladesh donde han sido objeto de estudios más profundos. Además se encuentran otras áreas, directamente relacionadas con procesos hidrotermales en Argentina, Chile, Japón, Nueva Zelanda, EE.UU., Islandia, Francia. Áreas con problemas de arsénico en relación a depósitos minerales y minería han sido reconocidas en numerosas partes del mundo, siendo los casos más sobresalientes los de Ghana, Grecia, Tailandia, Chile y EE.UU.

2.2 TOXICIDAD DEL ARSÉNICO EN LOS SERES HUMANOS

Las consecuencias en la salud de una exposición al arsénico dependen del modo y la duración de la exposición así como de la fuente y el tipo de arsénico.

De acuerdo a algunas investigaciones y análisis realizados en laboratorios se conoce que la dosis letal de arsénico en adultos es de 1-4 mg As/kg y para los demás compuestos (AsH_3 , As_2O_3 , As_2O_5) la dosis varía entre 1,5mg/kg y 500mg/kg de la masa de cuerpo.

La principal vía de exposición al arsénico es por la ingesta y la inhalación. Así, el tóxico llega al organismo y entra en contacto con las superficies epiteliales del tracto digestivo, del aparato respiratorio o de la piel, donde se absorbe. Al atravesar estas membranas alcanza el torrente sanguíneo, considerándose que el tóxico ha penetrado al organismo. A continuación es transportado por la sangre a los distintos órganos, donde puede llegar a causar un daño permanente.

En 24 horas puede ser encontrado en el hígado, en el riñón, los pulmones, en el bazo y en la piel. La acumulación en la piel es debido a su facilidad de reaccionar con las proteínas.

El arsénico inorgánico también es absorbido por los tejidos, es transformado mediante la metilación y eliminado en la orina a través del riñón. Cuando la ingestión es mayor que la excreción, se tiende a acumular en el cabello y en las uñas. El nivel normal de arsénico en la orina es 5-40 $\mu\text{g}/\text{día}$, en el cabello de 80-250 $\mu\text{g}/\text{día}$ y en las uñas de 430-1080 $\mu\text{g}/\text{día}$.

Los efectos tóxicos del As en los seres humanos varían de acuerdo a la genética, al metabolismo, a la dieta, al estado de la salud, a la nutrición, al sexo, entre otros. Aquellos con mayor riesgo son los que tienen una baja habilidad en la metilación del arsénico y como consecuencia lo retienen. Los más afectados son los niños que no metabolizan el As como un adulto debido a que su organismo realiza mayor división celular por encontrarse en desarrollo; y las personas desnutridas por la carencia de vitamina A y C.

El As también altera la genética de los cromosomas, quitándole la mitad de su información. Afecta también al crecimiento y la reproducción. De acuerdo a estudios realizados, grupos de alimentos como hortalizas, frutas, lácteos y carnes poseen concentraciones de arsénico, siendo las más altas aquellas encontradas en los pescados y mariscos. La orina es el mejor biomarcador para la medición de arsénico inorgánico absorbido, se pueden medir hasta el décimo día después de la exposición. En el cabello o uñas se pueden medir entre los seis a doce meses de la exposición.

2.2.1 INTOXICACIÓN

La intoxicación por arsénico y sus síntomas de acuerdo al tiempo de exposición y la concentración ingerida, pueden ser:

a) Intoxicación Aguda

El arsénico en grandes cantidades afecta la vía digestiva, presentándose como un cuadro gastrointestinal con dolores abdominales, vómitos, diarreas y deshidratación. La pérdida de sensibilidad en el sistema nervioso periférico es el efecto neurológico más frecuente; aparece una a dos semanas después de grandes exposiciones. Los síntomas de la intoxicación aguda pueden aparecer en minutos o bien muchas horas después de la ingestión de entre 100 y 300 mg de As, aunque también es posible la inhalación de polvo de As o la absorción cutánea.

b) Intoxicación crónica

La ingestión de As durante un tiempo prolongado y dosis repetitivas, acarrea varios síntomas como: fatiga, gastroenteritis, leucopenia, anemia, hipertensión, alteraciones cutáneas. En la mayoría de los casos los síntomas presentados por intoxicación crónica por arsénico se relacionan a la sintomatología general de algunas enfermedades comunes, debido a esto es necesario realizar un seguimiento del origen de la fuente de contaminada por arsénico y una serie de análisis médicos que cuantifiquen la concentración de este en el organismo. Luego de extensos estudios, en Bangladesh se utilizó el siguiente modelo epidemiológico:

FASES	MANIFESTACIONES
Preclínica	No hay síntomas. El As se encuentra en muestras de orina y en los tejidos
Clínica	Afecta a la piel Melanosis en las palmas de las manos, manchas oscuras en el pecho, espalda, miembros y encías Keratosis o endurecimiento de la piel. Callosidades en las palmas de las manos y en las plantas de los pies. Según WHO 5-10 años de exposición
Complicaciones	Síntomas clínicos más pronunciados Efectos en los órganos internos como: <ul style="list-style-type: none"> • Riñón • Hígado • Bazo Se asocia también: <ul style="list-style-type: none"> • Conjuntivitis • Bronquitis • Diabetes
Malignidad	Tumores o cáncer de piel y otros órganos. Gangrena, cáncer del pulmón o vejiga.



Fig 1. Enfermedad de Pie Negro



Fig 2. Habitante de Bangladesh



Fig 3. HACRE (Lesiones extra cutáneas)

Las enfermedades más comunes causadas por la intoxicación por arsénico se enumeran a continuación:

- Cáncer pulmón, vejiga, riñón, próstata
- Líneas de Mees
- Abortos espontáneos
- Malformaciones congénitas
- Hidroarsenismo Crónico Regional Endémico HACRE.

2.3 TRATAMIENTOS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO

Cuando se desea remover elementos químicos del agua, como el arsénico, es necesario recurrir a métodos más complejos que los habitualmente utilizados en la potabilización de agua, como:

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
Coagulación/Filtración	Consiste en que las cargas eléctricas de las sustancias coloidales disueltas o suspendidas son neutralizadas con la adición de sustancias insolubles en el agua, lo que permite la formación de partículas de mayor tamaño o aglomerados que pueden ser eliminadas por sedimentación y filtración. La eficiencia de este proceso depende que a dosis mayores de 20 mg/l de cloruro férrico o 40 mg/l de sulfato de aluminio se alcanza una remoción de Arsenato de más del 90%.
Alúmina activada	Consiste en un intercambio iónico, donde los iones presentes en el agua son absorbidas por la superficie oxidada de la alúmina activada. Es altamente selectiva para remover el Arsenato y efectiva para tratar agua con alto contenido de sólidos disueltos totales.
Ósmosis inversa	Consiste en eliminar las sustancias disueltas presentes en el agua por una membrana semipermeable bajo una presión superior a la osmótica. Tiene una eficiencia de más del 95% de remoción de arsénico disuelto. Este método es efectivo para remover arsénico de aguas subterráneas. El rendimiento del proceso con osmosis inversa es afectado principalmente por la turbiedad, hierro, manganeso y sílice.
Intercambio iónico	Los iones de una especie dada son desplazados de un material insoluble de intercambio (resina) por otros iones que se encuentran en solución. Remueve efectivamente el arsénico en el rango de pH entre 8 y 9. No obstante, el selenio, fluoruro, nitrato y sólidos disueltos totales compiten con el arsénico y afectan la duración del proceso.
Nanofiltración	Es un proceso de separación líquida mediante membranas operadas bajo presión que permite el paso de solventes y sales monovalentes, iones metálicos y pequeñas moléculas orgánicas de peso molecular en el rango de 200 y 1000. Con este método se alcanza hasta una remoción del 90% de arsénico disuelto en aguas subterráneas.
Ablandamiento con cal	Consiste en adicionar cal al agua. Este método es efectivo para remover arsenito o arsenato y la eficiencia de la remoción esta en función del pH. Este método tiene un alto rendimiento para remover concentraciones de arsénico de 50 µg/L; sin embargo para reducir a 1 µg/L se necesita de un tratamiento secundario. La remoción de As+5 es mayor al 90% a un pH de 10,5. Por debajo del rango del pH óptimo la remoción disminuye a menos del 20%. En el sistema de ablandamiento con cal se produce una considerable cantidad de lodo.

3.- CONCLUSIONES

El arsénico (As), es un elemento químico, cuyo peligro se conoce desde tiempos remotos, considerando la magnitud del daño que es capaz de causar, tanto en su forma orgánica como en la inorgánica; las normas establecidas para límites máximos permitidos del mismo, se han reducido en los últimos años, tras haberse realizado estudios de la máxima cantidad que un ser humano puede ingerir sin causar daños irreversibles.

Actualmente se han realizado muchos avances en lo que se refiere al tratamiento de aguas contaminadas con As, aunque la solución más adecuada sería mitigar la contaminación, lo cual aun no se ha logrado de forma eficaz.

4.- REFERENCIAS

<http://www.ada.gba.gov.ar/novedades/Informe2.pdf>
<http://www.espe.edu.ec/portal/files/libros/CIENCIA/RCiencia9-3.pdf>
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/993/1/T-ESPE-023926.pdf>
<http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd045364/distribucionars.pdf>
<http://cospl.coalliance.org/fez/eserv/co:1750/he194302ar720032internet.pdf>
http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Art_04_remoccion_arsenico.pdf
<http://www.bvsde.paho.org/acrobat/percca02.pdf>
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2323/1/T-ESPE-018646.pdf>
<http://www.miliarium.com/bibliografia/monografias/Arsenico/MetodosReduccionArsenico.asp>
 SCHOEN Ari, BECK Barbara, Arsenic toxicity at low doses: epidemiological and mode of action considerations, Gradient Corporation, Cambridge, March 2004
 Agency for toxic substances and diseases registry, División of Toxicology, Toxicological profile for arsenic for arsenic(update). Atlanta, GA. U.S. www.estrucplan.com.ar

**“¿Para qué vivimos,
si no es para facilitarnos la vida mutuamente?”**

Elliot

**“Un hombre libre es aquel que teniendo la fuerza y talento
para hacer una cosa, no encuentra trabas a su voluntad”.**

Thomas Hobbes.
